Die Häufigkeit der großen kosmischen Strahlenschauer

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

KARL DAUNER
aus Ludwigshafen a/Rh.

1939

Buchdruckerei Albert Becht, Tübingen, Hirschgasse 16

Gedruckt mit Genehmigung der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen.

Dekan: Prof. Dr. E. Hennig

Berichterstatter: Prof. Dr. E. Back

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Februar 1939

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhalt.

	Seite
§ 1. Einleitung	5
§ 2. Prinzip der Messanordnung	7
§ 3. Einzelheiten der Apparatur	8
§ 4. Eichung des Ionenmultiplikators	11
§ 5. Auswertung der Photogramme	12
§ 6. Versuchsgruppe I	13
§ 7. Versuchsgruppe II	17
§ 8. Zusammenfassung	23

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549601_0020

§ 1. Einleitung.

Vor etwa zehn Jahren hat Hoffmann[1]) beobachtet, daß in einer Druckionisationskammer pro Tag einige spontane Ladungsabscheidungen von mehreren Millionen Elementarquanten auftraten. Da diese sogenannten Hoffmannschen Stöße in einem Bergwerk[2]), 400 Meter unter der Erdoberfläche, ausblieben, lag es nahe, ihre Entstehung der kosmischen Ultrastrahlung zuzuschreiben. Später konnten dann Steinke und Schindler[3]) zeigen, daß die Häufigkeit dieser Stöße verschieden war je nach der Dicke der Bleischicht, welche die Ionisationskammer umgab. Unabhängig von diesen Versuchen wies Rossi[4]) mit Hilfe einer Zählrohrkoinzidenzanordnung nach, daß die kosmische Ultrastrahlung in Materie Sekundärstrahlen zu erzeugen vermag.

Sowohl die Hoffmannschen Stöße wie die Rossischen Koinzidenzen wurden in der Folgezeit von vielen Forschern[5]) eingehend untersucht. Dabei wurde festgestellt, daß es sich in beiden Fällen um Strahlengarben oder Schauer handelt, die von der kosmischen Ultrastrahlung in Materie auf eng begrenztem Raum erzeugt werden. Die Anzahl der Strahlen in einem Schauer kann sehr verschieden groß sein. In Einzelfällen hat man sogar Strahlengarben von vielen hundert Einzelteilchen mit Elektrometer oder Wilsonkammer[6]) nachweisen können.

1) G. Hoffmann, Physikerkongreß, Zürich 1929.

2) G. Hoffmann und W. S. Pforte, Phys. ZS. 31, 347, 1930; W. S. Pforte, ZS. f. Phys. 65, 92, 1930.

3) E. G. Steinke und H. Schindler, ZS. f. Phys. 75, 115, 1932,

4) B. Rossi, Phys. ZS. 33, 304, 1932.

5) Ausführliches Literaturverzeichnis in den zus. Darstellungen von E. G. Steinke, Erg. d. ex. Naturw. XIII. Band, 1934, H. Geiger, ebenda XIV. Band, 1935 und E. Miehlnickel, Höhenstrahlung, Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig 1938.

6) C. D. Anderson und S. H. Neddermeyer, Phys. Rev. 50, 263, 1936; P. Ehrenfest und P. Auger, Journ. de Phys. et de Rad. 7, 65, 1936; Fussell und Street, siehe Darol K. Froman und J. C. Stearns, Rev. of Modern Phys. 10, 172, 1938.

Für die Entstehung der Schauer gibt es verschiedene theoretische Gesichtspunkte, die neuerdings von Euler und Heisenberg[7]) im Zusammenhang dargestellt worden sind. Darnach ist heute kaum mehr zu bezweifeln, daß die meisten Schauer durch wiederholte Strahlenmultiplikation entstehen, indem ein einfallendes energiereiches Teilchen Elektronenpaare erzeugt, die dann ihrerseits durch Auslösung von Bremsstrahlung weitere Elektronen in der Materie freisetzen. Wahrscheinlich spielen aber bei der Entstehung der sehr großen Schauer neben der Strahlenmultiplikation auch andere Vorgänge (z. B. Kernverdampfung) eine wichtige Rolle.

Die Klärung aller dieser Fragen wird durch das seltene Auftreten der Schauer sehr erschwert. Im Mittel beobachtet man bei Blei etwa einen Schauer pro Stunde und Quadratzentimeter[8]), wobei die strahlenarmen Schauer bereits eingerechnet sind. Aus diesem Grunde ist das experimentelle Material über Schauer noch relativ gering und unsicher. Die Häufigkeit und Größe der Schauer in Abhängigkeit von Dicke und Art der Materie wurden mit der Druckionisationskammer[9]) und Zählrohrkoinzidenzanordnungen[8]) untersucht. Aus diesen Arbeiten ergibt sich, daß die Zahl der Schauer mit der Dicke der Materieschicht bis zu einem Maximalwert anwächst und dann langsam abklingt. Für kleine Schauer liegt dieses Maximum für Blei bei etwa 1,5 cm, tritt aber für leichtere Elemente erst bei erheblich größeren Dicken auf. Für sehr große Schauer scheint sich die Lage des Maximums in allen Fällen nach größeren Schichtdicken zu verschieben. Die Häufigkeit der Schauer nimmt mit ihrer Größe (Strahlenzahl N) sehr rasch ab und zwar angenähert proportional zu $1/N^z$, wo für z Werte zwischen 1,5 und 2,5 angegeben werden.

---

7) H. Euler und W. Heisenberg, Erg. d. ex. Naturw. XVIII. Band, 1938.

8) H. Geiger und O. Zeiller, ZS. f. Phys. 97, 300, 1935.

9) C. G. Montgomery und D. D. Montgomery, Phys. Rev. 47, 429, 1935; R. D. Bennett, S. Brown und H. A. Rahmel, Phys. Rev. 47, 437, 1935; J. C. Street und R. T. Young, Phys. Rev. 47, 572, 1935; A. Gastell, ZS. f. Phys. 97, 414, 1935; H. Carmichael, Proc. Roy. Soc. Lond. 154, 223, 1936; H. Nie, ZS. f. Phys. 99, 453, 1936; W. Messerschmidt, ZS. f. Phys. 103, 27, 1936; R. T. Young, Phys. Rev. 52, 559, 1937; I. K. Böggild, Diss. Kopenhagen 1937.

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, durch Messung von Schauerhäufigkeit und Schauergröße weiteres Material zum Schauerproblem beizubringen, wobei eine im hiesigen Institut von Stuhlinger[10]) ausgearbeitete neue Methode Verwendung fand. Diese Methode war besonders geeignet, Schauer in allen Größenbereichen zu untersuchen. Sie hatte außerdem im Vergleich mit der Druckionisationskammer den Vorteil, daß die von einem Schauer erzeugte Ladungsmenge in der kurzen Zeit von rund 10^{-3} Sekunden abgeschieden wurde, sodaß selbst kleine Schauer deutlich aus dem Untergrund der statistischen Schwankungen heraustraten.

§ 2. Prinzip der Meßanordnung.

Die hier benutzte Apparatur war im wesentlichen dem von Stuhlinger[10]) ausgearbeiteten „Ionenmultiplikator" nachgebildet, der von ihm zur Messung des Ionisierungsvermögens der kosmischen Ultrastrahlen benutzt worden war. Dieser Ionenmultiplikator bestand aus der Verbindung eines Proportionalzählers mit einem proportional arbeitenden Röhrenverstärker und gestattete, die Zahl der Ionen, die ein Korpuskularstrahl in einem Gas erzeugt, bis herab zu einem einzigen Ion in einfacher Weise zu messen. In dem Proportionalzählrohr wurde bei geeignet gewählten Werten von Druck und Spannung die von einem Korpuskularstrahl oder einem Schauer primär erzeugte Ionenzahl durch Stoßmultiplikation um einen Faktor vermehrt, der 10^4 betragen konnte. Die so vorverstärkte Ionenladung, die innerhalb 1/1000 Sekunde dem Zähldraht zufloß[11]), wurde mit dem Röhrenverstärker um den Faktor 10^5 weitervervielfacht, so daß auf diese Weise eine Gesamtverstärkung von 10^9 erzielt wurde. Der Endstromstoß, der ein Maß für die Größe der Schauer war, wurde einem kurzperiodischen Galvanometer (Oszillograph) zugeführt und photographisch registriert.

Dieser Ionenmultiplikator arbeitete durch Monate hindurch in verläßlicher Weise; vor allem lag infolge der Aufteilung der Multiplikation auf Zählrohr und Röhrenverstärker der Störspiegel relativ niedrig, sodaß sich auch die kleinsten auszumessenden Stromstöße deutlich über den Untergrund heraushoben.

10) E. Stuhlinger, Diss. Tübingen 1936.
11) H. Geiger, Hdbch. d. Phys. Bd. XXII, 2, 168, 1933.

Zu der Meßanordnung gehörte noch eine unabhängig arbeitende Koinzidenzapparatur, durch die die Stromstöße, welche von einem Schauer herrührten, abgetrennt werden konnten von den Stromstößen, die von α- oder β-Strahlen ausgelöst waren. Zu dem Zweck war die Koinzidenzapparatur derart mit dem Registrierapparat verkoppelt, daß nur dann eine photographische Aufnahme des Oszillographenausschlags erfolgte, wenn dieser mit einem Stromstoß des Koinzidenzverstärkers zusammenfiel.

Die einzelnen Teile der Meßanordnung werden im folgenden Paragraphen näher beschrieben.

§ 3. Einzelheiten der Apparatur.

a) Proportionalzählrohr. Dieses war ein 25 cm langes Messingrohr von 1 mm Wandstärke und 4,8 cm Innendurchmesser, in dessen Achse ein 0,2 mm starker Zähldraht von zwei Hartgummistopfen gehalten wurde. Einer der Stopfen hatte eine 1,7 mm weite Bohrung, die durch ein aufgekittetes Glimmerfenster von 1,8 cm Luftäquivalent verschlossen war. Durch dieses Fenster konnten parallel zum Zähldraht α-Strahlen zu Eichzwecken eingeschossen werden. Das Zählrohr war mit technisch reinem Argon bis zu einem Druck von 35 cm Quecksilber gefüllt und stand dauernd mit einem Manometer in Verbindung. Die bei 1 500 Volt liegende Zählspannung wurde einem Satz von Anodenbatterien entnommen, dessen Konstanz mit einem Flügelelektrometer überwacht wurde, das Spannungsänderungen von $\pm$ 6 Volt abzulesen gestattete. Derartige Spannungsschwankungen traten kaum auf; sie waren außerdem belanglos, da sie den Verstärkungsfaktor des Multiplikationsrohres höchstens um 1 % veränderten.

b) Röhrenverstärker. Der Zähldraht des statisch abgeschirmten Multiplikationszählers war über eine Hochfrequenzdrossel direkt mit dem Gitter der ersten Röhre eines Widerstandsverstärkers verbunden. Als Eingangsröhre wurde eine Telefunkenröhre RE 034 verwendet. Das Gitter dieser Röhre hatte eine negative Vorspannung von —3 Volt und war über einen Pikrinsäurewiderstand der Größenordnung 10^8 Ohm zur Erde abgeleitet. Ueber drei weitere Stufen, welche Röhren der gleichen Type enthielten,

wurde der Spannungsstoß, der an das Gitter der ersten Röhre gelangte, weiterverstärkt und schließlich über eine Transformatorkopplung auf die Endröhre (RE 134) gegeben.

c) Oszillograph. Als Meßinstrument wurde ein von Kühne[12]) entwickelter Drehspuloszillograph verwendet. Auf ein Hartgummiblättchen von $2{,}5 \times 4 \times 18$ mm³ wurden etwa 150 Windungen von 0,05 mm dickem Kupferdraht aufgewickelt. Diese Flachspule wurde mit einem feinen Phosphorbronzeband in einem homogenen Magnetfeld von rund 5000 Gauß um ihre Längsachse drehbar eingespannt. Auf die Spule war ein wenige Quadratmillimeter großes Spiegelchen aufgeklebt, auf das ein schmaler Lichtstrahl fiel, dessen reflektiertes Bild photographiert wurde. Ein Dauerstrom von 10^{-6} Amp. ergab bei 1 m Skalenabstand einen Ausschlag von 14,3 mm. Die Eigenfrequenz des Instrumentes betrug 13 Hertz. Eine höhere Eigenfrequenz wäre im vorliegenden Fall unzweckmäßig gewesen (siehe § 5).

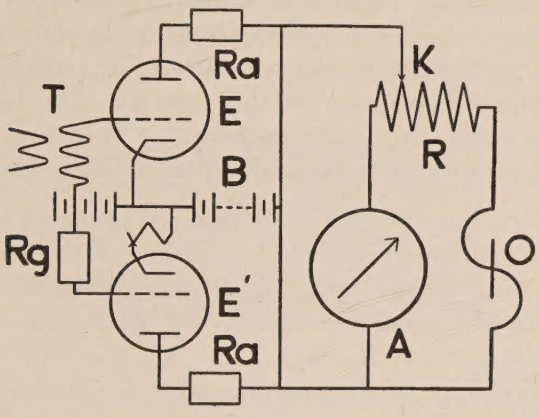

Fig. 1. Schaltung des Oszillographen.

T = Kopplungstransformator, E = Endröhre des Verstärkers, E′ = Kompensationsröhre, Rg = Gitterableitwiderstand, B= Anodenbatterie, Ra = Anodenwiderstände, A = Amperemeter, O = Oszillograph, R = Stöpselrheostat, K = verstellbarer Kontakt zur Empfindlichkeitseinstellung.

Die Schaltung des Oszillographen geht aus Fig. 1 hervor. Es bedeutet E die Endröhre des Ionenmultiplikators und E′ eine Röhre

12) R. Kühne, Diplomarbeit nicht veröffentlicht.

gleicher Art, durch die der Ruhestrom, welcher in Stärke von einigen Milliampere die Endröhre E durchfloß, kompensiert wurde. Die Kompensation erfolgte durch Aenderung des Heizstromes von E' unter Benutzung des Amperemeters A, das parallel zum Oszillographen O lag. Der Oszillograph selbst durfte wegen seiner hohen Empfindlichkeit erst dann eingeschaltet werden, wenn die Kompensation nahezu erreicht war. Die Empfindlichkeit des Oszillographen für Stromstöße konnte durch Verlegen des Kontaktes am Widerstand R in weiten Grenzen variiert werden. Außerdem sorgte der Widerstand R für eine ausreichende Dämpfung des Instruments.

d) Filmkammer. Die Ausschläge des Oszillographen wurden photographisch registriert. Ein von dem Oszillographenspiegel reflektierter Lichtstrahl fiel durch einen horizontalen Spalt von 0,01 cm Breite und 2,5 cm Länge in einen lichtdichten Kasten, in welchem sich dauernd eine den endlosen Filmstreifen tragende Trommel langsam drehte. Der Spalt war normalerweise durch eine Aluminiumklappe verschlossen und wurde nur im Augenblick eines Schauers durch den Koinzidenzverstärker für etwa 0,4 Sekunden geöffnet. Das Oeffnen der Klappe erfolgte bei Eintritt eines Schauers so rasch, daß auf dem Film der Weg des Lichtzeigers noch vor Erreichung des Umkehrpunkts sichtbar war.

e) Koinzidenzanordnung. Zur Koinzidenzanordnung wurden Zählrohre von 25 cm Länge und 2 cm Durchmesser benutzt. Die Impulse dieser im Auslösebereich arbeitenden Zählrohre gingen auf einen Vierfachkoinzidenzverstärker, der in ähnlicher Weise gebaut war wie der von Rossi[13]) bzw. Ehmert[14]). Im Anodenkreis der Endröhre lagen hintereinander der Elektromagnet zur Betätigung des Filmkammerverschlusses und ein Zählwerk. Das Zählwerk war bedeutend empfindlicher eingestellt als der Verschlußelektromagnet. Dadurch war die Möglichkeit gegeben, das gleichmäßige Arbeiten der Koinzidenzanordnung zu kontrollieren. Denn Störungen machten sich sofort dadurch bemerkbar, daß Zählwerk und Verschluß verschiedene Koinzidenzzahlen anzeigten.

13) B. Rossi, Nature 125, 636, 1930.
14) A. Ehmert, Phys. ZS. 35, 20, 1934.

§ 4. Eichung des Ionenmultiplikators.

Das proportionale Arbeiten des Ionenmultiplikators wurde bereits von Stuhlinger[10]) durch eingehende Messungen erwiesen. Einige von mir durchgeführte Kontrollmessungen, bei welchen vor allem die Arbeitsweise des Röhrenverstärkers und die Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors im Zählrohr von der Zählspannung untersucht wurden, bestätigten seine Ergebnisse.

Die Eichung des Ionenmultiplikators wurde unter Bedingungen vorgenommen, die soweit als möglich den späteren Versuchen entsprachen. Sie geschah mit Hilfe der α-Strahlen von Th C + C'. Die beiden α-Strahlengruppen traten durch einen mit Glimmer verschlossenen Hartgummikanal in das Zählrohr parallel zum Draht ein und wurden im Gase absorbiert, ohne an die Wandung zu gelangen. Sie erzeugten unter den gegebenen Versuchsbedingungen im Zählrohr Ionenmengen von $2{,}5 \times 10^5$ bzw. $1{,}0 \times 10^5$ Ionen, die bei einer Zählspannung von 1 500 Volt um den Faktor 100 vergrößert wurden. Um durch diese großen Ionenmengen den Verstärker nicht zu übersteuern, wurde der ersten Röhre ein Zusatzkondensator geeigneter Größe parallel geschaltet. Figur 2 gibt

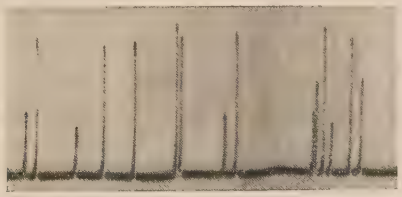

Fig. 2. Ausschläge der α-Strahlen von Th C + C' bei 1500 V Zählspannung, 1 000 cm Zusatzkapazität und 1/25 der Höchstempfindlichkeit des Oszillographen.

ein Beispiel für die Größe der Ausschläge, die bei 1500 Volt Zählspannung und einer Zusatzkapazität von 1 000 cm erhalten wurden. Durch diese Zusatzkapazität war die Empfindlichkeit des Verstärkers um den Faktor 0,05 reduziert, während durch den Parallelwiderstand des Oszillographen (§ 3) auch dessen Empfindlichkeit um einen weiteren Faktor 0,04 herabgesetzt war. Dabei war durch besondere Versuche festgestellt worden, daß die

Zusatzkapazität und der Parallelwiderstand die Empfindlichkeit der Apparatur in genau dem Maße herabsetzte, wie sich aus den Größen der Zusatzkapazität und des Parallelwiderstands errechnete.

Als Endresultat ergab sich, daß bei höchster Empfindlichkeit des Oszillographen ein Ausschlag von 1 mm auf dem Filmstreifen 30 primären Ionen im Zählrohr entsprach. Ein kosmischer Ultrastrahl der durchschnittlich 50 Ionen im Zählrohr erzeugte, machte sich somit durch einen Ausschlag von 1,5 mm erkennbar. Ein Drittel dieser Ausschlagsgröße konnte noch mit Sicherheit ausgemessen werden. Im allgemeinen brauchte aber gar nicht diese hohe Empfindlichkeit eingestellt werden, da es sich bei den folgenden Messungen vorwiegend um die Registrierung strahlenreicher Schauer handelte.

§ 5. Auswertung der Photogramme.

Da der Oszillograph nicht nur im Augenblick einer Koinzidenz einen Ausschlag gab, sondern je nach Wahl der Empfindlichkeit mehr oder weniger häufig Stromstöße anzeigte, war es wichtig, genau entscheiden zu können, welche Stromstöße von einem Schauer und welche von anderen Ursachen herrührten.

Um auf dem Registrierstreifen das zeitliche Zusammenfallen eines Stromstoßes aus dem Koinzidenzverstärker mit einem Ausschlag des Oszillographen möglichst scharf erfassen zu können, wurde die Eigenfrequenz des Oszillographen so niedrig gewählt, daß der Ausschlag noch nicht seine volle Größe erreicht hatte, wenn der Verschluß der Registrierkammer durch den Koinzidenzverstärker geöffnet worden war. Hierzu war eine Zeit von 1/100 Sekunde erforderlich.

Die Figuren 3 bis 5 zeigen einige charakteristische Aufnahmen, die bei normaler Filmgeschwindigkeit von 35 cm pro Minute erhalten wurden. Die unteren horizontalen Striche geben die Zeiten an (jeweils 0,4 Sek.), während denen der Verschluß als Folge einer Koinzidenz geöffnet war, die oberen horizontalen Striche — aus äußerlichen Gründen gegen die unteren zeitlich etwas verschoben — sind durch den Lichtzeiger des Oszillographen hervorgerufen. Bei Fig. 3 war nur e i n e r der Koinzidenzstriche

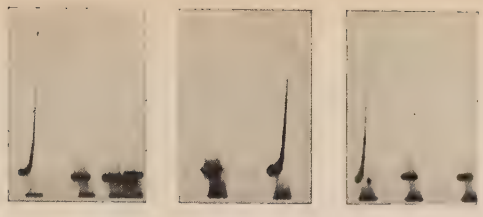

Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

Fig. 3 bis 5. Einige bei den Messungen auftretende Ausschlagsbilder.

mit einem Ausschlag des Oszillographen verkoppelt. In diesem Falle war auch wirklich Gleichzeitigkeit innerhalb der Meßgenauigkeit von 1/100 Sek. vorhanden. Dies war in erster Linie daran zu erkennen, daß über der Einsatzstelle des Koinzidenzstriches der obere Umkehrpunkt des Oszillographenausschlages als Verdickung zu sehen war. Kam der Oszillographenausschlag um mehr als 1/100 Sek. früher als die den Verschluß betätigende Koinzidenz, so war die erwähnte Verdickung nicht bemerkbar, weil die Verschlußklappe sich zu spät öffnete (Fig. 4). Kam andererseits der Oszillographenausschlag um mehr als 1/100 Sek. später als die Koinzidenz, so war die immer stark überstrahlte Lichtmarke noch als feiner Vertikalstrich vor der Einsatzstelle des Oszillographenausschlags zu erkennen (Fig. 5).

§ 6. Versuchsgruppe I.

Mit der Versuchsgruppe I wurde die Häufigkeit von Schauern verschiedener Größe aus Bleidicken von 0,2; 1,3; 3,8 und 6,3 cm gemessen. Die dazu benutzte Versuchsanordnung geht aus Fig. 6 hervor. Das Proportionalzählrohr p lag dicht unter der Bleischicht Pb, welche eine Fläche von 10×30 cm^2 überdeckte. Konstruktion und Schaltung dieses Zählrohrs sind bereits in § 3 angegeben worden. Unter dem Proportionalzählrohr p befanden sich vier Auslösezähler 1, 2, 3 und 4, von denen das unterste einen Durchmesser von 4, die übrigen von 2 cm hatten. Diese Zählrohre wurden in der in § 3 angegebenen Weise mit einem Koinzidenzverstärker

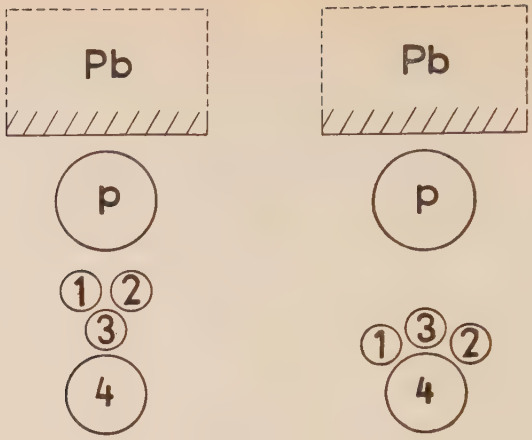

Fig. 6 Fig. 7

Fig. 6 und 7. Zählrohranordnungen der Versuchsgruppe I.

verbunden und dienten dazu, die photographische Registrierung der in p auftretenden Stromstöße zu steuern.

Gegen diese Meßmethode können zwei Bedenken erhoben werden. Erstens erfaßt das Zählrohr p nicht immer den vollen Schauer. In manchen Fällen wird ein Teil der Schauerstrahlen an diesem Rohr vorbeigehen. Da aber die Strahlenverteilung in einem Schauer aus Messungen anderer Autoren [15]) wenigstens annähernd bekannt ist, läßt sich der Fehler abschätzen, der durch die am Zählrohr vorbeigehenden Strahlen bedingt wird. Der Fehler beträgt für mittlere Bleidicken rund 30 %. Im folgenden wurden alle in p gemessenen Ionisationseffekte auf „Strahlenzahlen" umgerechnet, wobei 50 primär im Zählrohr erzeugte Ionen einem Strahl zugeordnet wurden. Dabei ist darauf verzichtet worden, eine Korrektur für die an p vorbeigehenden Strahlen anzubringen.

Eine zweite Korrektur ist dadurch bedingt, daß die Koinzidenzanordnung nicht alle Schauer erfaßt. Es können nämlich in p Stromstöße auftreten, ohne daß die Koinzidenzanordnung und damit der photographische Verschluß in Tätigkeit tritt. Aus den von Geiger und Zeiller[8]) gemessenen Ansprechwahrscheinlichkeiten kann man aber überschlagen, wie groß unter den vor-

15) H. Geiger und O. Zeiller, ZS. f. Phys. 105, 517, 1937.

liegenden experimentellen Bedingungen ein Schauer sein muß, damit er mit einer an 1 grenzenden Wahrscheinlichkeit die Koinzidenzanordnung auslöst. Die Ueberschlagsrechnung zeigt, daß praktisch alle Schauer über 15 Strahlen registriert werden, daß aber bei kleineren Schauern mit erheblichen Ausfällen gerechnet werden muß. Diese Berechnung wurde experimentell dadurch überprüft, daß die beiden Anordnungen 6 und 7 in bezug auf Erfaßbarkeit der Schauer miteinander verglichen wurden. Bei Anordnung 7 waren mindestens 3, bei Anordnung 6 aber nur 2 Strahlen für eine Koinzidenz erforderlich. Es zeigte sich, daß beide Anordnungen für Schauer mit mehr als 15 Strahlen die gleichen Koinzidenzzahlen gaben, während bei kleineren Schauern Anordnung 7 in bezug auf die Koinzidenzzahl merklich hinter Anordnung 6 zurückblieb. So wurden beispielsweise Schauer mit 5 bis 10 Strahlen bei Anordnung 6 nahezu zweimal häufiger erfaßt als bei Anordnung 7.

Es muß noch erwähnt werden, daß in der Stunde etwa 10 Koinzidenzen auftraten, die mit keinem Ausschlag im Proportionalzählrohr verbunden waren. Da diese Koinzidenzen in gleicher Zahl mit und ohne Blei vorhanden waren und auch nicht auf mangelndes Auflösungsvermögen des Koinzidenzverstärkers (10^{-4} Sekunden) zurückgeführt werden konnten, mußten sie von seitlich einfallenden Schauern herrühren, deren Strahlen in p nicht zur Wirkung kamen.

Tabelle 1 enthält die Ergebnisse der Versuchsgruppe I. In ihr sind die auf Strahlenzahlen umgerechneten Ausschläge des Pro-

Tabelle 1. Stündliche Koinzidenzzahlen für Schauer verschiedener Größe.

Bleidicke	Strahlenzahl 0	1 —5	5 —10	10 —15	15 —20	20 —50	50 —100	100 —200	über 200
ohne Blei	10,3	2,7	0,38	0,37	0,16	0,16	0,07	0,01	0,01
0,2 cm	—	—	—	0,76	0,29	0,42	0,04	0,04	0,04
1,3 „	10,4	7,1	1,81	2,06	0,99	1,76	0,44	0,24	0,11
3,8 „	10,3	5,6	0,79	1,06	0,50	1,20	0,35	0,09	0,07
6,3 „	10,7	4,4	0,90	0,66	0,20	0.71	0,24	0,05	0,09

portionalzählrohrs in Abhängigkeit von der Bleidicke angegeben. Die Empfindlichkeit des Oszillographen war bis zu Schauern von 10 Strahlen derart eingestellt, daß ein einzelner Strahl im Mittel

einem Ausschlag von 1,5 mm entsprach. Für die strahlenreicheren Schauer (mehr als 10 Strahlen) wurde die Oszillographenempfindlichkeit soweit reduziert, daß 15 Strahlen einem Ausschlag von 1 mm entsprachen.

Auch ohne Blei wurden Schauer beobachtet, die aus der relativ starken Betondecke des Zimmers kamen. Wahrscheinlich handelte es sich um die von Schmeiser und Bothe[16]) entdeckten harten Schauer. Im Mittel wurde bei den einzelnen Punkten über 60 Stunden registriert. Bei den kleinen Schauern lag der mittlere statistische Fehler bei 15 %, bei den großen und darum selteneren Schauern stieg er auf 30 bzw. 50 % an.

Ein Ueberblick über Tabelle 1 bestätigt das bekannte Resultat, daß mit wachsender Strahlenzahl die Häufigkeit der Schauer stark abnimmt. Die Abnahme würde noch sehr viel stärker heraustreten, wenn man in Rechnung ziehen würde, daß die kleinen Schauer nicht alle von der Koinzidenzanordnung erfaßt wurden. So wurden beispielsweise bei Anordnung 6 von Schauern, die 8 Strahlen enthalten, nur rund 20 % erfaßt.

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 2 noch in anderer Weise dargestellt. Dort ist für die verschiedenen Bleidicken die Zahl der stündlichen Koinzidenzen angegeben, welche mit Schauern von mehr als 1 bzw. 5 bzw. 10 usw. Strahlen im Proportionalzählrohr verbunden waren. Nimmt man in Anlehnung an andere Autoren[17]) an, daß der Zusammenhang zwischen Schauergröße

Tabelle 2. Stündliche Koinzidenzzahlen für Schauer gegebener Mindestgröße.

Bleidicke	Mindeststrahlenzahl im Schauer							
	1	5	10	15	20	50	100	200
ohne Blei	3,86	1,16	0,78	0,41	0,25	0,09	0,02	0,01
0,2 cm	—	—	1,59	0,83	0,54	0,12	0,08	0,04
1,3 „	14,5	7,41	5,60	3,54	2,55	0,79	0,35	0,11
3,8 „	9,66	4,06	3,27	2,21	1,71	0,51	0,16	0,07
6,3 „	7,25	2,85	1,95	1,29	1,09	0,38	0,14	0,09

16) K. Schmeiser und W. Bothe, Ann. d. Phys. 32, 161, 1938.

17) Eine Zusammenstellung der Meßergebnisse verschiedener Autoren findet sich bei C. G. Montgomery und D. D. Montgomery, Phys. Rev. 48, 969, 1935 und H. Euler, ZS. f. Phys. 110, 450, 1938.

und Schauerhäufigkeit durch eine Funktion der Form $1/N^z$ darstellbar ist, so ergibt sich aus den vorliegenden Messungen der Exponent z zu 1,3. Dies veranschaulicht Fig. 8, in der in loga-

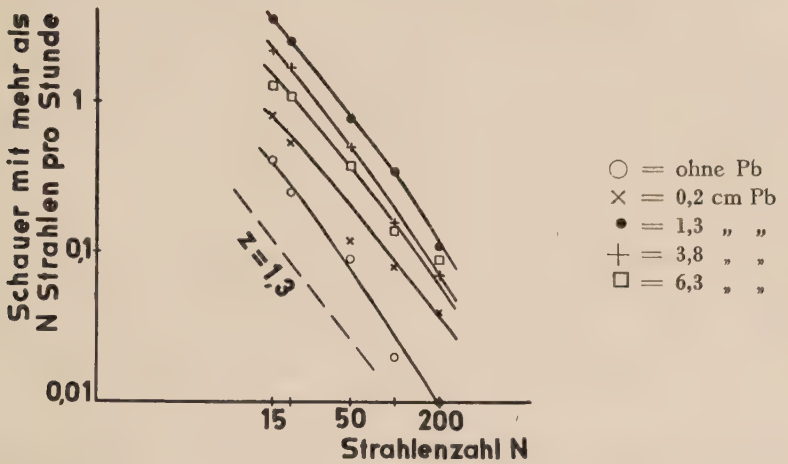

Fig. 8. Schauer pro Stunde mit mehr als N Strahlen in Abhängigkeit von N für verschiedene Bleidicken.

rithmischen Skalen die Häufigkeit der Schauer mit mehr als N Strahlen in Abhängigkeit von N für verschiedene Bleidicken aufgetragen ist. Messungen mit der Ionisationskammer ergaben einen Exponenten zwischen 1,5 und 2,5[17]). Stuhlinger[18]), dessen Apparatur der meinigen sehr ähnlich war, findet für z den Wert 1.

§ 7. Versuchsgruppe II.

Bei der Versuchsgruppe II wurde die Häufigkeit der Schauer, die mehr als 200 Strahlen enthalten, in Abhängigkeit der Bleidicke bestimmt. Die Versuchsbedingungen wurden dabei so gewählt, daß nach Möglichkeit alle Schauer mit vollem Raumwinkel erfaßt wurden. Zwei Anordnungen wurden benutzt, die in den Figuren 9 und 10 dargestellt sind. Bei beiden Anordnungen befanden sich dicht unter der Bleischicht Pb von 30×40 cm² fünf parallel geschaltete Proportionalzählrohre pp, die alle bei gleicher Zählspannung arbeiteten. Diese Zählrohre waren zur Abschirmung

18) E. Stuhlinger, ZS. f. Phys. 108, 444, 1938.

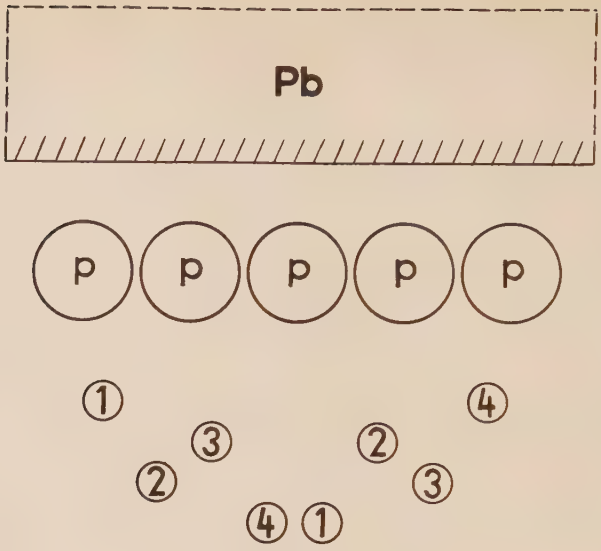

Fig. 9.

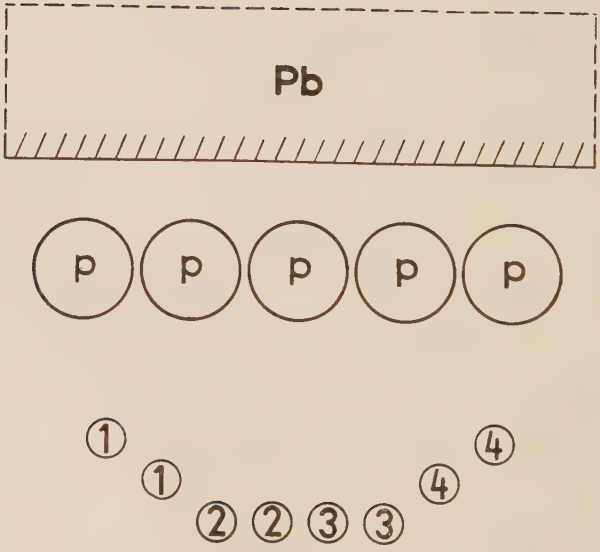

Fig. 10.

Fig. 9 und 10. Zählrohranordnungen der Versuchsgruppe II.

elektrostatischer Störungen zusammen mit Hochspannungsbatterie und Zuleitungen in ein geerdetes Metallgehäuse eingebaut. Von den Zähldrähten dieser Rohre führte eine gemeinsame Leitung über eine Hochfrequenzdrossel (vgl. § 3) zu der ersten Röhre des Verstärkers.

Unter den Proportionalzählrohren pp befanden sich acht Auslösezähler, von denen je zwei gleichbezifferte Rohre derart zusammengeschaltet waren, daß Vierfachkoinzidenzen gezählt werden konnten. Jedes Zählrohr war dabei über je einen Kondensator von 100 cm Kapazität mit einer Eingangsröhre des Koinzidenzverstärkers verbunden. Die Gruppierung der Zählrohre war bei beiden Anordnungen insofern etwas verschieden, als im Falle 10 zu einer Koinzidenz ein stärker divergentes Strahlenbündel erforderlich war als im Falle 9. Im übrigen waren die Gruppierungen so gewählt, daß die Zahl der ohne Blei auftretenden Koinzidenzen (Nulleffekt) möglichst gering war. In der Tat betrug auch der Nulleffekt 15,7 bei Anordnung 9 und 6,8 Koinzidenzen pro Stunde bei Anordnung 10, während er auf 40 anstieg, wenn die Zählrohre in einer Ebene neben einander angeordnet waren. Wurden in den beiden ersten Fällen 1,2 cm Pb über den Zählrohren eingeschaltet, so stiegen die Koinzidenzzahlen um 18,5 bzw. 6,0 pro Stunde an. Der Nulleffekt lag also in beiden Fällen innerhalb tragbarer Grenzen.

Die mit der Anordnung 9 gewonnenen Zahlen sind in Tabelle 3 eingetragen. Die Spannung an den Proportionalzählrohren betrug 1520 Volt, während die Oszillographenempfindlichkeit so gewählt war, daß 200 Strahlen einen Ausschlag von 2 mm ergaben. Nur Ausschläge größer als 2 mm wurden verwertet. Es

Tabelle 3. Koinzidenzen und Schauer mit mehr als 200 Strahlen bei Anordnung 9.

Bleidicke	Koinzidenzen		Schauer mit mehr als 200 Strahlen	
	Gesamtzahl	pro Stunde	Gesamtzahl	pro Stunde
ohne Blei	2 700	15,7	6	0,035
0,2 cm	4 015	22,4	13	0,073
1,2 „	4 044	34,2	38	0,32
3,7 „	2 323	23,6	16	0,16
6,2 „	2 262	18,6	15	0,12

entfielen z. B. bei 1,2 cm Pb auf 4044 Koinzidenzen 38 Koinzidenzen mit Ausschlägen über 200 Strahlen. Bei den übrigen Koinzidenzen waren die Ausschläge kleiner und unterhalb 0,5 mm nicht mehr mit Sicherheit erkennbar.

Bei der Anordnung 10 arbeiteten die Proportionalzählrohre mit 1250 Volt Zählspannung, sodaß die Ionenmultiplikation in den Zählrohren nahezu zehnmal kleiner war als im Falle 9. Ferner war die Oszillographenempfindlichkeit jetzt so gewählt, daß 200 Strahlen einen Ausschlag von 1 mm hervorriefen. Die unter diesen Bedingungen gefundenen Werte sind in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4. Koinzidenzen und Schauer mit mehr als 200 Strahlen bei Anordnung 10.

Bleidicke	Koinzidenzen		Schauer mit mehr als 200 Strahlen	
	Gesamtzahl	pro Stunde	Gesamtzahl	pro Stunde
ohne Blei	341	6,8	1	0,02
0,4 cm	752	10,3	7	0,10
2,8 „	535	11,1	17	0,35
3,8 „	128	9,8	4	0,31
5,4 „	233	6,8	6	0,18
7,8 „	123	5,6	2	0,09

Aus beiden Tabellen geht hervor, daß Schauer von mehr als 200 Strahlen bei etwa 2 cm Pb am häufigsten auftreten und dann mit wachsender Schichtdicke allmählich seltener werden. Bei der Betrachtung der Tabellen 3 und 4 fällt außerdem noch auf, daß auch ohne Blei eine merkliche Zahl von Schauern (0,03 pro Stunde) erhalten wurde. Diese Schauer kamen wahrscheinlich aus der Zimmerdecke und den Zählrohrwandungen; sie konnten aber zum Teil auch dadurch entstanden sein, daß im Moment der Koinzidenz ein α-Strahl ein Proportionalzählrohr durchsetzt hatte. Bekanntlich zeigen alle Metallwände immer eine geringe Aktivität, die auf radioaktive Verseuchung zurückzuführen ist. So zeigte sich in den fünf Proportionalzählrohren durchschnittlich pro Minute 1 Ausschlag, der 200 und mehr Elektronenstrahlen entsprach. Da nach § 5 auf dem photographischen Film Zeitunterschiede von mehr als 1/100 Sekunde erkennbar waren, so waren pro Stunde nur 0,01 Fälle zu erwarten, bei denen durch einen α-Strahl ein Schauer vorgetäuscht wurde. Die falschen Schauer spielen zahlen-

mäßig keine Rolle gegenüber den registrierten wirklichen Schauern, zumindest bei Bleidicken von mehr als 1 cm. Nur bei den dünnen Bleischichten von 0,2 und 0,4 cm fallen sie der Zahl nach in die Größenordnung der großen Schauer.

Die Ergebnisse der Versuchsgruppe II sind in Fig. 11 graphisch dargestellt. Die Kreuze beziehen sich auf die Anordnung 9, die Kreise auf die Anordnung 10. Da für Schauer über 200 Strahlen die Ansprechwahrscheinlichkeit beider Anordnungen gleich groß

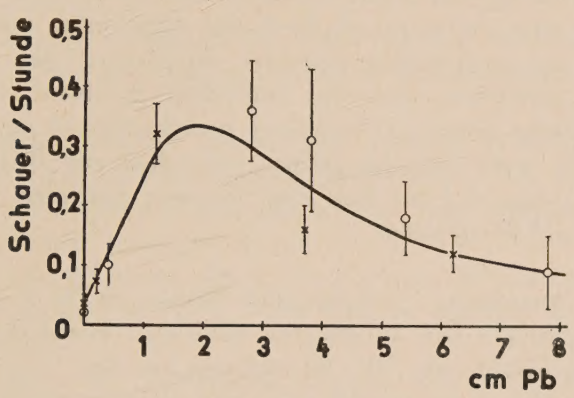

Fig. 11. Häufigkeit der Schauer mit mehr als 200 Strahlen in Abhängigkeit der Bleidicke. Kreuze = Anordnung 9; Kreise = Anordnung 10. Senkrechte Striche = mittlerer statistischer Fehler.

und praktisch gleich 1 ist, so ist es auch berechtigt, beide Meßreihen in dasselbe Schaubild aufzunehmen. Der Kurvenverlauf ist dem älterer Messungen sehr ähnlich. Das Maximum der Kurve liegt etwa an derselben Stelle, wo es auch von anderen Autoren gefunden wurde. So gibt z. B. Carmichael[9]) für Stöße von 160 bis 720 Strahlen die Lage des Maximums zwischen 2 und 3 cm an. Nimmt man an, daß die Schauer im wesentlichen aus der Bleischicht kommen, deren Fläche so groß ist als wie die von den Zählrohren überdeckte Fläche, so errechnet sich die Zahl der Schauer mit mehr als 200 Strahlen aus 2 cm Pb zu 5 pro Stunde und Quadratmeter.

Besonders wichtig ist die Frage nach der Realität der beiden ersten Meßpunkte für 0,2 und 0,4 cm Blei. Nach Tabelle 3 wurden

für 0,2 cm Pb in 179 Stunden 13 Schauer und ohne Blei (Nulleffekt) in 172 Stunden 6 Schauer mit mehr als 200 Strahlen gezählt. Die nach Abzug des Nulleffekts für 0,2 cm Pb verbleibende Schauerzahl von 0,038 pro Stunde ist daher mit einem statistischen Meßfehler von $\pm$ 0,025 belastet. Für die bei 0,4 cm Pb nach Abzug des Nulleffekts verbleibende Schauerzahl von 0,08 pro Stunde errechnet sich entsprechend der Meßfehler zu 0,041. Sollte die für den Nulleffekt verantwortliche Strahlung in dem Blei eine Absorption erfahren und somit der Nulleffekt nicht in voller Höhe abzuziehen sein, so wären dadurch die Meßpunkte bei 0,2 und 0,4 cm Pb nur noch stärker gesichert. Im gleichen Sinn würde es sich auch auswirken, wenn der Nulleffekt zu einem merklichen Teil auf falsche Schauer (α-Strahlen) zurückzuführen ist. Es kann also als sehr wahrscheinlich gelten, daß schon aus Bleischichten, die nur 0,2 bzw. 0,4 cm dick sind, Schauer austreten, die mehr als 200 Strahlen enthalten.

Mit der Anordnung 9 wurden auch Messungen für 9 und 18 cm Al durchgeführt. Die aufgelegten Schichten überdeckten dabei die gleiche Fläche von 30×40 cm^2 wie bei den Versuchen mit Blei. Beide Messungen wurden unter den gleichen experimentellen Bedingungen vorgenommen und erstreckten sich über 183 bzw. 212 Stunden. Die in diesen Zeiten gezählten Koinzidenzen und Schauer mit mehr als 200 Strahlen sind in Tabelle 5 eingetragen,

Tabelle 5. Koinzidenzen und Schauer mit mehr als 200 Strahlen aus Aluminium mit Anordnung 9.

Al-dicke	Koinzidenzen		Schauer mit mehr als 200 Strahlen	
	Gesamtzahl	pro Stunde	Gesamtzahl	pro Stunde
ohne Al	2 700	15,7	6	0,035
9 cm	4 015	21,9	19	0,10
18 „	4 555	21,5	17	0,08

in der auch der in Tabelle 3 angegebene Nulleffekt zum Vergleich noch einmal wiedergegeben ist. Unterschiede in den beiden Aluminiumdicken von 9 bzw. 18 cm traten weder bei den Koinzidenzzahlen noch bei den Schauerzahlen hervor. Auf gleiche Masse bezogen ist die Zahl der Schauer mit mehr als 200 Strahlen aus Aluminium rund 3mal kleiner als bei Blei.

§ 8. Zusammenfassung

1. Der von Stuhlinger angegebene Ionenmultiplikator wurde zum Studium der Häufigkeit der strahlenreichen Schauer benutzt.

2. Dadurch, daß fünf nebeneinanderliegende Proportionalzählrohre parallel geschaltet wurden, konnte erreicht werden, daß die Schauer fast mit ihrem vollen Raumwinkel erfaßt wurden.

3. Die Häufigkeit der Schauer aus Blei mit mehr als 200 Strahlen zeigte in Uebereinstimmung mit anderen Autoren ein Maximum bei rund 2 cm Pb.

4. Die Zahl der Schauer mit mehr als 200 Strahlen, die aus 2 cm dickem Blei pro Quadratmeter und Stunde ausgehen, beträgt rund 5.

5. Die Häufigkeit der Schauer mit mehr als N Strahlen ist in erster Näherung umgekehrt proportional zu N^z, wie auch bereits von anderen Autoren festgestellt wurde. Der Exponent z ergab sich aus meinen Messungen zu 1,3.

6. Auch bei Schichten von 0,2 und 0,4 cm Pb konnten Schauer mit mehr als 200 Strahlen, wenn auch in geringer Zahl, festgestellt werden.

7. Messungen an Aluminium zeigten, daß die Zahl der aus Aluminium austretenden Schauer mit mehr als 200 Strahlen rund 3mal kleiner ist als die Zahl gleich großer Schauer aus Blei, wenn man Schichten gleicher Massen miteinander vergleicht.

Die vorliegende Arbeit wurde in den Jahren 1936 bis 1938 in den Physikalischen Instituten der Universität Tübingen und der Technischen Hochschule Berlin ausgeführt. Die in ihr angeführten Messungen sind in Berlin gemacht worden. Die Anregung zu dieser Arbeit gab Herr Professor Dr. H. Geiger; es ist mir ein besonderes Bedürfnis, ihm auch an dieser Stelle für sein unermüdliches Interesse am Fortgang der Arbeit und für zahlreiche wertvolle Ratschläge herzlichst zu danken. Auch Herrn Dr. habil. O. Haxel und besonders Herrn Dr. E. Stuhlinger möchte ich für freundliche Anteilnahme und stete Hilfsbereitschaft herzlichst danken.

Ein Teil der für diese Untersuchung benutzten Apparatur war aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschafft worden.

Lebenslauf.

Als Sohn des Sattlers Johannes Dauner und seiner Ehefrau Katharina, geb. Wieland, wurde ich, Karl Dauner, am 2. 6. 1910 in Ludwigshafen a. Rh. geboren. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule trat ich 1923 in die dortige Oberrealschule über, wo ich 1930 die Reifeprüfung ablegte. In den folgenden Jahren studierte ich an den Universitäten Königsberg, München, Bonn und Tübingen Physik, Mathematik und Chemie. In den Jahren 1934/35 habe ich mein Studium unterbrochen und habe ein Jahr als Freiwilliger im Art. Reg. 5 in Ulm a. D. gedient.